



## Processeur spécialisé pour le calcul de sons en temps réel par simulation instrumentale

Talin Dars-Berbery, Claude Cadoz, Jean-Loup Florens

### ► To cite this version:

Talin Dars-Berbery, Claude Cadoz, Jean-Loup Florens. Processeur spécialisé pour le calcul de sons en temps réel par simulation instrumentale. International Commission of Acoustics, 1983, Paris, France. pp.459-462. hal-00910528

**HAL Id: hal-00910528**

**<https://hal.science/hal-00910528>**

Submitted on 13 Mar 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



PROCESSEUR SPECIALISE POUR LE CALCUL DE SONS EN TEMPS REEL  
PAR SIMULATION INSTRUMENTALE

Talin DARS-BERBERYAN, Claude CADOZ, Jean-Loup FLORENS

ASSOCIATION POUR LA CREATION ET LA RECHERCHE SUR LES OUTILS D'EXPRESSION  
E.N.S.E.R.G. - 23, rue des Martyrs - 38031, GRENOBLE CEDEX

I. Le système CORDIS

Le processeur que nous présentons est un des composants du système **CORDIS**, conçu pour permettre de retrouver, dans le contexte informatique, les différents aspects (simultanément gestuel, visuel et sonore) de l'expérience instrumentale dans l'activité de création musicale. La principale contrainte imposée dans la mise en oeuvre de ces conditions est d'obtenir le temps réel entre les canaux de contrôle gestuel et visuel et la sortie sonore. Le système CORDIS est constitué, autour d'un miniordinateur, du processeur "CORDIS-Temps Réel", ci-après désigné par "CTR", de transducteurs gestuels pour le contrôle gestuel des sons, et d'un langage de description mécanique des instruments.

Les instruments se modélisent en 2 parties, **excitateur et structure vibrante**. L'excitateur (comportement lent) est simulé, en temps réel sur le miniordinateur. La structure vibrante (bande passante acoustique) nécessite une implantation sur un calculateur rapide et est simulé sur le CTR. L'appartenance du CTR au système CORDIS impose que son langage de programmation et son jeu d'instructions soit entièrement compatibles avec le langage CORDIS. Les 2 calculateurs se partagent les fonctions de calcul en temps réel, selon leurs vitesses de calcul respectives.

II. Description du CTR

II.1. Instructions du CTR

Le premier jeu d'instructions, (qui peut par la suite être étendu), contient 22 macroinstructions. Elles appartiennent à trois groupes, les modules internes, les modules d'entrée/sortie lentes (communication avec l'excitateur), les modules de sortie sonore.

II.1.2. Les modules internes

Ils définissent la structure vibrante, à l'exclusion des entrées-sorties pour l'excitateur et des sorties sonores. Ils comprennent les modules matériels et les modules de liaison.

Le CTR n'a qu'un seul module matériel : la **CELLULE UNITAIRE**. Elle modélise un point matériel de masse 1 reliée à un point fixe par un ressort et un frottement. C'est le plus petit élément vibrant du système. On a :

$$X_i(n) = F_i(n) + A_i.X_i(n-1) + B_i.X_i(n-2) + C_i$$



DARS-BERBERYAN T. - Processeur Temps Réel pour la synthèse musicale

avec  $X_i(n)$  : déplacement à l'instant  $n$  du point matériel,  
 $F_i(n)$  : force extérieure qui lui est appliquée à l'instant  $n$ .

Les modules de liaison relient 2 modules matériels. Ils sont de 2 types : liaisons simples ou conditionnelles.

La **liaison simple** est formée par un élément de raideur et un élément de frottement en parallèle. L'instruction correspondante est : LIA  $i,j,k$  ( $i$  : identificateur de la liaison, ( $j,k$ ) : identificateurs des modules matériels qu'elle relie). Les équations correspondantes sont :

$$\begin{aligned} F_k(n) &= A_i \cdot ((X_j - X_k)(n)) + B_i \cdot ((X_j - X_k)(n-1)) + C_i \\ F_j(n) &= - F_k(n) \end{aligned}$$

où  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_i$  sont des coefficients dépendant des coefficients de raideur et de frottement de la liaison et  $F_{k,j}$  les forces appliquées aux modules matériels.

La **liaison conditionnelle** est une liaison simple "ressort-frottement", qui peut prendre 2 états selon qu'une condition est, ou non, réalisée. Il y a 3 types de liaisons conditionnelles selon le type de conditions : liaison unilatérale (UNL) ou liaison à 1 seuil, liaison à échappement (ECH) ou liaison à 2 seuils, liaison soumise à des conditions extérieures (CDX).

#### II.1.2. Les modules d'entrée-sortie lente

Ils supportent la communication entre l'excitateur, modélisé dans le calculateur-hôte et la structure vibrante. Ces modules se répartissent en deux groupes correspondant à 2 types différents de manipulation de la structure vibrante : l'excitation qui fournit l'énergie mécanique à la structure vibrante et la modification qui modifie qualitativement ou quantitativement l'instrument.

Les **modules d'excitation** sont au nombre de quatre :

- \* PL/FL : l'excitateur impose un déplacement/force à la structure vibrante,
- \* FLP/PLF : l'excitateur impose une force/déplacement à la structure vibrante et celle-ci lui impose un déplacement/force.

Les **modules de modification** CLPX permettent le contrôle lent des paramètres. Il y a autant d'instructions que de types de paramètres à contrôler.

#### II.1.3. Les modules de sortie sonore

Les **modules de sortie sonore** SORX permettent une sortie stéréophonique. La variable de sortie peut être la somme des positions de plusieurs cellules.

#### II.2. Représentation des données

Le format des données est déterminant pour la rapidité et la complexité des différents opérateurs. Une étude des erreurs de troncature et d'arrondi pour les types d'algorithmes implantés a mis en évidence une nette amélioration du rapport signal/bruit pour un format virgule fixe supérieur à 24 bits et une équivalence entre le format "24 bits virgule fixe" et "flottant 24 bits de mantisse-8bits d'exposant" pour les erreurs de troncature. Nous avons choisi, en tenant compte des problèmes de mise en oeuvre, un **format virgule fixe 32 bits** avec un cadrage interne des données pour satisfaire aux contraintes des dynamiques et des plages de



variation respectives pour chaque type de donnée.

### II.3. Architecture

La fréquence standard pour le calcul des échantillons sonores est de 25,6 kHz. Le cycle de calcul interne du CTR a une durée d'environ 150 ns.

#### II.3.1. Les processeurs

Le CTR se compose de trois processeurs - interne, d'entrée/sortie, de sortie sonore - fonctionnant en parallèle.

Le **processeur interne** (PI) effectue le calcul des échantillons selon les algorithmes de simulation. Il possède 2 bus de 32 bits. Tous les calculs sont effectués sur 32 bits. Il comprend une unité arithmétique et logique, un multiplieur et un opérateur de tests. Le multiplieur est construit à partir de multiplieurs 16 bits parallèles. Il est conçu comme un opérateur "pipe-line" à deux étages effectuant la multiplication en 2 cycles de calcul et fournissant un résultat à chaque cycle (150 ns). L'opérateur de test est spécialisé pour le calcul des liaisons conditionnelles. Il détermine l'état de la liaison en fonction de l'état de la condition et effectue les branchements conditionnels correspondants.

Le **processeur d'entrée-sortie** (PES) effectue un filtrage passe-bas du second ordre sur les 6 entrées lentes du CTR (-3db, 50Hz). Il est réalisé à partir de multiplieurs série-parallèle multiplexés.

Le **processeur de sortie sonore** (PSS) effectue, sur 2 voies, un cadrage des données de sorties et la sortie sonore. Pour chacune des voies, le signal de sortie est la somme des positions de plusieurs cellules. L'utilisateur peut sélectionner les 14 bits significatifs du mot de sortie de 32 bits. Il dispose de 16 positions de cadrage.

#### II.3.2. Communication avec le calculateur et gestion interne

L'**interface de communication** avec le calculateur est un interface parallèle 16 bits. Les informations transmises comprennent les commandes à destination du CTR (mode pas à pas, calcul, arrêt, lecture/écriture), l'adressage des mémoires du CTR, les données de pré-structuration (instructions et paramètres de simulation), les données communiquées entre l'excitateur et la structure vibrante en cours de calcul. Un système d'incréméntation automatique des adresses permet les transferts en blocs. Une ligne d'horloge permet de synchroniser, dans le mode standard, le calcul de l'excitateur dans le mini-ordinateur sur celui de la structure vibrante dans le CTR. Des lignes d'interruption ont également été prévues.

Une **mémoire tampon** permet la communication asynchrone des données excitateur/structure vibrante en cours de calcul. Le calculateur-hôte peut y accéder quelque soit l'état du CTR.

Un **automate de transfert** microprogrammé gère la communication entre les différentes parties du CTR. Un cycle d'échantillonnage commence par un temps de transfert de durée correspondant à 10 cycles de calcul, pendant lequel les données calculées au cycle précédent sont transférées, sous contrôle de l'automate, entre la mémoire tampon, le processeur d'entrée-sortie, le processeur interne, le processeur de sortie sonore. Quand le transfert est terminé, l'automate active les 3 processeurs simultanément.

#### II.3.3. Les mémoires

La **mémoire de programme** (MP) est une mémoire RAM statique de 1024x16 bits. La mémoire de microprogramme est une mémoire morte de 256x58 bits.

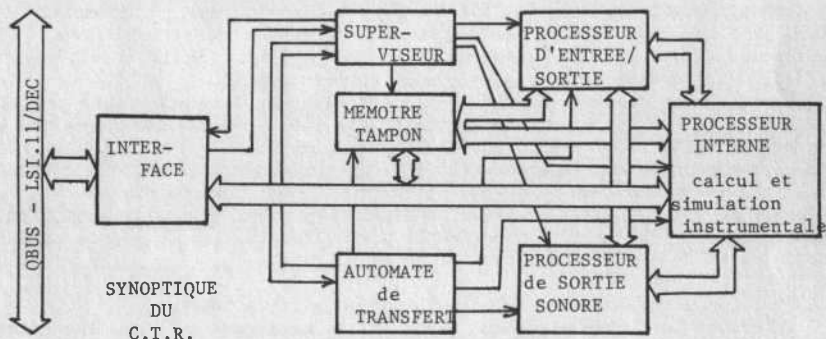


Les micro-instructions sont décrites sur 58 bits.

Les **mémoires de données** du CTR sont très spécialisées afin d'atteindre une plus grande efficacité pour les calculs parallèles.

La mémoire de variables intermédiaires (MESI) et la mémoire de paramètres (MC) ont toutes deux une taille de 1024x32 bits. La structuration en deux mémoires différentes pour les variables et les paramètres permet de lire simultanément deux valeurs pendant un cycle de calcul. Ces mémoires sont structurées en pages de 32 mots. Une page est destinée à un type de variable ou de paramètre déterminé (exemples: page des variables d'entrée pour les cellules dans MESI, page du paramètre A pour les modules de liaison dans MC). Seule cette spécialisation poussée des mémoires permet d'atteindre le temps réel sur des structures de complexité admissible.

Une mémoire spécifique (COEFF) contient les coefficients de filtres d'entrées/sorties lentes.



### III. Conclusions et évaluations

Une exploration systématique des possibilités sonores du système CORDIS n'a pu être menée avant la réalisation de cette machine, la contrainte du temps différé s'avérant décourageante, et surtout ne permettant pas de comparer simplement des exemples sonores entre eux. Les premiers essais portent sur l'étude de la relation entre la configuration physique de l'instrument simulé (nature de l'excitateur, de la structure vibrante ou de leur liaison) et la perception sonore, sur des structures cependant simples, le CTR ne permettant d'explorer, en temps réel, à 25,6 KHz, qu'une quinzaine de cellules couplées au maximum.

### REFERENCES:

- CADOZ C., LUCIANI A., FLORENS J.L.: Synthèse Musicale par Simulation des Mécanismes Instrumentaux. Transducteurs Gestuels Rétroactifs pour l'Etude du Jeu Instrumental - Revue d'Acoustique N° 59 - 1981.  
DARS-BERBERYAN T.: Application des Processus Récursifs à la Synthèse Sonore - D.E.A. - Institut National Polytechnique de GRENOBLE - 1979.  
DARS-BERBERYAN T.: Etude et Réalisation d'un calculateur Spécialisé pour la Synthèse Sonore en Temps Réel par Simulation de Mécanismes Instrumentaux - Institut National Polytechnique de GRENOBLE - 1982.